การเปรียบเทียบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จากการออกแบบ
โดยวิธีมาร์แชลและวิธีซูเปอร์เพฟ ระดับ I

นาย พรชัย ศิลารมย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-346-480-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19423586 15 [illegible] 2545

COMPARISON OF ASPHALT MIXTURES FROM MARSHALL AND SUPERPAVE™ LEVEL I MIX DESIGN METHODS

Mr. Pornchai Silarom

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-346-480-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จากการออกแบบโดยวิธีมาร์แชลและวิธีซูเปอร์เพฟ ระดับ 1
โดย	นาย พรชัย ศิลารมย์
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ อนุกัลย์ อิศรเสนา ณ อยุธยา)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรวิศ นฤปิติ)

....กรรมการ
(ดร. ชยธันว์ พรหมศร)

นาย พรชัย ศิลารมย์ : การเปรียบเทียบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จากการออกแบบโดยวิธีมาร์แชลและวิธีซูเปอร์เพฟ ระดับ 1. (COMPARISON OF ASPHALT MIXTURES FROM MARSHALL AND SUPERPAVE™ LEVEL I MIX DESIGN METHODS)
อ. ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ, 126 หน้า. ISBN 974-346-480-8.

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จากการออกแบบส่วนผสมด้วยวิธีมาร์แชลและวิธีซูเปอร์เพฟระดับ 1 โดยเปรียบเทียบลักษณะทางด้านปริมาตรของส่วนผสมที่ได้และคุณสมบัติการใช้งานของส่วนผสมจากปริมาณแอสฟัลต์ที่ได้จากวิธีการออกแบบที่แตกต่างกัน

ในการศึกษาจะใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC60/70 และมวลรวมประเภทหินปูน จำนวน 3 ขนาดคละ โดยใช้พื้นที่ที่ถูกจำกัด (Restricted Zone) ในวิธีซูเปอร์เพฟ เป็นตัวกำหนด ขนาดคละที่ 1 2 และ 3 จะอยู่ด้านบน ผ่านกลาง และด้านใต้ของพื้นที่ถูกจำกัด ตามลำดับ นำมาทำการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลและวิธีซูเปอร์เพฟ ระดับ 1 เปรียบเทียบปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ ปริมาณช่องว่างของอากาศ และปริมาณช่องว่างที่เติมด้วยแอสฟัลต์ จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าความแปรปรวนของความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างจากวิธีการบดอัดที่แตกต่างกัน สุดท้ายจะทำการเปรียบเทียบค่าโมดูลัสคืนตัวและทดสอบความล้าจากก้อนตัวอย่างที่ผสมด้วยปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ได้จากการออกแบบ ผลการทดสอบที่ได้พบว่าส่วนผสมทั้ง 3 ขนาดคละให้ผลในแนวเดียวกันคือ การใช้วิธีการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตวิธีซูเปอร์เพฟระดับ 1 จะทำให้ได้ส่วนผสมที่มีค่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ ปริมาณช่องว่างของอากาศและปริมาณช่องว่างที่เติมด้วยแอสฟัลต์น้อยกว่าส่วนผสมที่ได้จากวิธีมาร์แชล นอกจากนี้การใช้ Gyratory Compactor ก็จะให้ค่าความแปรปรวนของก้อนตัวอย่างน้อยกว่า ประกอบกับค่าโมดูลัสคืนคัวและความต้านทานต่อการยุบตัวจากการทดสอบความล้าก็มีค่ามากกว่า

ดังนั้นสำหรับแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC60/70 และขนาดคละของหินปูนที่ใช้พบว่าการใช้วิธีซูเปอร์เพฟระดับ 1 ออกแบบส่วนผสมจะทำให้ได้ส่วนผสมที่ใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์น้อยลงทำให้เกิดการประหยัดในการก่อสร้างถนน และมีคุณสมบัติค่าโมดูลัสคืนตัวและความต้านทานต่อการยุบตัวดีขึ้นส่งผลให้ได้ผิวทางแบบแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความแข็งแรงต้านทานต่อการเสียหายได้ดีขึ้น

ภาควิชา ......วิศวกรรมโยธา.............. ลายมือชื่อนิสิต..
สาขาวิชา ......วิศวกรรมโยธา.............. ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ....
ปีการศึกษา ...2543.......................

4170426421 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEY WORD: MARSHALL /SUPERPAVE LEVEL I /MIX DESIGN/ASPHALT CONCRETE/COMPARISON

PORNCHAI SILAROM : COMPARISON OF ASPHALT MIXTURES FROM MARSHALL AND SUPERPAVE™ LEVEL I MIX DESIGN METHODS
THESIS ADVISOR : PROF. DIREK LAVANSIRI, Ph.D. , 126 pp. ISBN 974-346-480-8.

The objective of this study is to investigate a comparison of asphalt concrete mixtures designed by two different methods; respectively Marshall and Superpave™ Level I mix design. The comparison is made by looking at the volumetric properties and performance properties for mixes at optimum asphalt content achieved by the different mix design methods.

In this study, asphalt cement AC60/70 and three gradations of limestone were utilized. Three different gradation, respectively placed on the upper, passing through and below the Restricted Zone in Superpave™. were selected in the investigation. The first step was to determine the optimum asphalt content for asphalt concrete mixtures designed by Marshall and Superpave™ level I methods. This was done by looking at the optimum asphalt content, voids in the mineral aggregate(VMA) and the voids filled with asphalt(VFA). A comparison was made of density variation of the samples from each compaction methods. The last step was to compare resilient modulus and values from fatigue test of the samples from each optimum asphalt content from each design methods. The Superpave™ Level I mix design shows a lower optimum values of needed asphalt cement, VMA and VFA for all gradations. At the same time the variation in density of the samples from Gyratory Compactor is smaller and both the resilient modulus and deformation resistance are higher.

In conclusion that, for asphalt cement AC60/70 and limestone aggregate, the utilization of Superpave™ Level I mix design tend to give the low cost asphalt concrete mixtures due to less asphalt cement than that of Marshall method. At the same time, it will be possible to get higher durability and quality road surface resulting from higher resilient modulus and better deformation resistance.

Department......CIVIL..ENGINEERING... Student's signature..................................
Field of study....CIVIL..ENGINEERING... Advisor's signature..................................
Academic year ...2000..........................

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงสำเร็จลุล่วงลงด้วยดีไม่ได้หากขาดความช่วยเหลือจากบุคคลต่างๆต่อไปนี้

ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยเอาใจใส่ดูแลช่วยเหลือและให้คำปรึกษาตลอดการทำวิทยานิพนธ์จนกระทั่งสำเร็จลงได้ด้วยดี

รองศาสตราจารย์ อนุกัลย์ อิศรเสนา ณ อยุธยา ประธานกรรมการ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ช่วยดูแลแนะนำและให้คำปรึกษาต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์

ดร.ชยธันว์ พรหมศร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำในการทำงาน และช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือทดสอบจนวิทยานิพนธ์สำเร็จลงได้

รองศาสตราจารย์ ดร.สุพล ดุรงค์วัฒนา ผู้ให้คำปรึกษาด้านหลักสถิติซึ่งใช้เป็นส่วนหนึ่งในการศึกษาครั้งนี้

ผู้ดูแลห้องปฏิบัติการขนส่งและการจราจร ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และผู้ดูแลห้องปฏิบัติการออกแบบผิวทาง ศูนย์วิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง สำหรับความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทดสอบ

นายปนัสย์ พุกโพธิ์ นายนิพนธ์ ตั้งติรวัฒน์ นายวรากร กริ่มวงษ์รักษ์ นายเปรมศักดิ์ โล่ห์ทอง นายบุรินทร์ ทั้งไพศาล นายพงษ์ธร จาฎุพจน์ นายพิสิฐ ยิ่งมโนกิจ นายพรพจน์ ชอบน้ำตาล นายชาคริต ตั้งศิริมงคล นายวุฒิชัย พุ่มสงวน นายประพุธ พงษ์เลาหพันธุ์ นายนพพร จิโรจจาตุรนต์ นายโสภณ เอี่ยมศิริกุลมิตร รุ่นพี่ เพื่อนและรุ่นน้องท่านอื่นๆ ที่คอยช่วยเหลือในการเตรียมตัวอย่างและการทดสอบที่ต้องใช้กำลังคน ทำให้การทดสอบเป็นไปอย่างราบรื่น

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา-น้องสาว-น้องชาย ที่ให้การสนับสนุนด้านการเงิน ให้กำลังใจและเข้าใจตลอดการศึกษาจนกระทั่งผู้วิจัยสำเร็จการศึกษาลงได้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ 1
  1.1 ความเป็นมาของปัญหา 1
  1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 3
  1.3 ขอบเขตการศึกษา 4
  1.4 สมมติฐานในการศึกษา 4
  1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

2 การศึกษาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 6
  2.1 การศึกษาและสิ่งที่ได้รับจากการศึกษาในอดีต 6
  2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 14

3 วิธีการในการศึกษา 24
  3.1 การเตรียมและทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้นของแอสฟัลต์ซีเมนต์ 24
  3.2 การเตรียมและทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้นของมวลรวม 25
  3.3 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชล
  และวิธีซูเปอร์เพฟ ระดับ 1 26
  3.4 การเปรียบเทียบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้ 28
  3.5 การทดสอบหาความแปรปรวนของการบดอัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 28
  3.6 การทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวและความล้า 30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4 วิเคราะห์ผลการศึกษา....................33
4.1 ผลการทดลองหาคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์....................33
4.2 ผลการทดลองหาคุณสมบัติของมวลรวม....................34
4.3 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชล....................39
4.4 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีซูเปอร์เพฟ ระดับ 1....................39
4.5 วิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะของส่วนผสมที่ได้....................43
4.6 วิเคราะห์ผลการทดสอบหาความแปรปรวนของการบดอัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน....................49
4.7 วิเคราะห์ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวและทดสอบความล้า....................57

5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ....................68
5.1 สรุปผล....................68
5.2 ข้อเสนอแนะ....................69

รายการอ้างอิง....................70
ภาคผนวก....................72
ภาคผนวก ก....................73
ภาคผนวก ข....................96
ภาคผนวก ค....................104
ภาคผนวก ง....................111
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์....................126

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2.1 หลักเกณฑ์การออกแบบโดยวิธีมาร์แชล 15
2.2 ระดับในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีซูเปอร์เพฟ 19
2.3 จำนวนรอบในการบดอัด 20
2.4 ข้อกำหนดสำหรับปริมาณช่องว่างในมวลรวม(VMA) 23
2.5 ข้อกำหนดสำหรับปริมาณช่องว่างที่เติมด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์(VFA) 23
3.1 การตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ยังไม่ผ่านการอบ 24
3.2 การตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหลือจากการอบตาม ASTM D 1754 25
3.3 การตรวจวัดคุณสมบัติของมวลรวมหยาบ 25
3.4 การตรวจวัดคุณสมบัติของมวลรวมละเอียด 26
3.5 การทดสอบความแปรปรวนของการบดอัดสำหรับแต่ละขนาดคละ 29
4.1 คุณสมบัติต่างๆของแอสฟัลต์ซีเมนต์ 33
4.2 คุณสมบัติต่างๆของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหลือจากการอบตาม ASTM D 1754 34
4.3 ค่าความถ่วงจำเพาะและค่าการดูดซึมของมวลรวม 35
4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมหยาบ 36
4.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมละเอียด 37
4.6 สัดส่วนขนาดคละ ข้อกำหนดของกรมทางหลวงและข้อแนะนำของซูเปอร์เพฟ สำหรับมวลรวมขนาด 9.5 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) 37
4.7 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชล 41
4.8 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีซูเปอร์เพฟ ระดับ 1 โดยใช้ขนาดคละ 1 42
4.9 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีซูเปอร์เพฟ ระดับ 1 โดยใช้ขนาดคละ 2 42
4.10 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีซูเปอร์เพฟ ระดับ 1 โดยใช้ขนาดคละ 3 43
4.11 การทดสอบความแปรปรวนของการบดอัดสำหรับแต่ละขนาดคละ 49
4.12 ความหนาแน่นและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของก้อนตัวอย่าง : ขนาดคละ 1 50
4.13 ความหนาแน่นและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของก้อนตัวอย่าง : ขนาดคละ 2 50

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

4.14 ความหนาแน่นและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของก้อนตัวอย่าง : ขนาดคละ 3 50
4.15 ผลการทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน : ขนาดคละ 1 54
4.16 ผลการทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน : ขนาดคละ 2 55
4.17 ผลการทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน : ขนาดคละ 3 56
4.18 ผลการทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัวและค่าการคืนตัว 59
4.19 ผลการทดสอบความล้า 63

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

2.1 ปริมาณช่องว่างระหว่างมวลรวมที่น้อยที่สุด 16
2.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากวิธีมาร์แชล 17
2.3 ลักษณะการบดอัดของ Superpave Gyratory Compactor (SGC) 18
2.4 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบ และร้อยละความหนาแน่นของส่วนผสม 21
2.5 ตัวอย่างการหาคุณสมบัติต่างๆที่ค่าของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ที่ให้ค่าช่องว่างของอากาศร้อยละ 4.0 22
3.1 กราฟแสดงข้อกำหนดของขนาดคละที่นำมาใช้ในการคัดเลือกขนาดคละ 27
3.2 แสดงขั้นตอนการศึกษา 32
4.1 สัดส่วนขนาดคละ ข้อกำหนดของกรมทางหลวงและข้อแนะนำของซูเปอร์เพฟ 38
4.2 กราฟแสดงค่าแตกต่างของปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ ค่าช่องว่างในมวลรวม และค่าช่องว่างที่เติมด้วยแอสฟัลต์ ของขนาดคละ 1 45
4.3 กราฟแสดงค่าแตกต่างของปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ ค่าช่องว่างในมวลรวม และค่าช่องว่างที่เติมด้วยแอสฟัลต์ ของขนาดคละ 2 46
4.4 กราฟแสดงค่าแตกต่างของปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ ค่าช่องว่างในมวลรวม และค่าช่องว่างที่เติมด้วยแอสฟัลต์ ของขนาดคละ 3 47
4.5 กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน : ขนาดคละ 1 51
4.6 กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน : ขนาดคละ 2 51
4.7 กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน : ขนาดคละ 3 52
4.8 แสดงค่าที่ใช้ในการคำนวณของโปรแกรม 58
4.9 ผลการทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัว : ขนาดคละ 1 60
4.10 ผลการทดสอบค่าการคืนตัว : ขนาดคละ 1 60
4.11 ผลการทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัว : ขนาดคละ 2 61
4.12 ผลการทดสอบค่าการคืนตัว : ขนาดคละ 2 61
4.13 ผลการทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัว : ขนาดคละ 3 62
4.14 ผลการทดสอบค่าการคืนตัว : ขนาดคละ 3 62

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

4.15 ค่าโมดูลัสในการทดสอบความล้า : ขนาดคละ 1 64
4.16 ค่าการคืนตัวในการทดสอบความล้า : ขนาดคละ 1 64
4.17 ค่าโมดูลัสในการทดสอบความล้า : ขนาดคละ 2 65
4.18 ค่าการคืนตัวในการทดสอบความล้า : ขนาดคละ 2 65
4.19 ค่าโมดูลัสในการทดสอบความล้า : ขนาดคละ 3 66
4.20 ค่าการคืนตัวในการทดสอบความล้า : ขนาดคละ 3 66